

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Provozní hodnocení pružení automobilů

**Operational Evaluation of Automobile Suspension
Systems**

Student: Petr Mahdal

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Richtář

Ostrava 2009

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Provozní hodnocení pružení automobilů

Operational Evaluation of Automobile Suspension Systems

Student: Petr Mahdal
Studijní obor: 2301R002 Dopravní technika
Pracoviště: Institut dopravy - 342

Zásady pro zpracování:

1. Úvod.
2. Legislativní stav.
3. Přehled současného stavu.
4. Provozní hodnocení.
5. Zhodnocení a doporučení.
6. Závěr.

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: min. 30 stran textu mimo přílohy

Cíl práce: Cílem práce je provést provozní hodnocení pružení automobilů.

Seznam doporučené literatury:

MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy I.*, Alfa Bratislava, 1990, ISBN 80-05-00392-7

MATĚJKA, R. *Vozidla silniční dopravy II.*, Alfa Bratislava, 1994, ISBN 80-7100-074-4

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Richtář

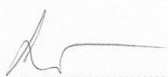
Datum zadání bakalářské práce: 24. září 2008

Datum odevzdání: 22. května 2009

Akademický rok: 2008/2009

L. S.




.....
doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
ředitel ID


.....
prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan FS

V Ostravě dne 23. září 2008



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Podpis studenta

Adresa trvalého pobytu:

Hoštáky 43

Bánov

687 54

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MAHDAL, P. Provozní hodnocení pružení automobilů, Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 35 s. Bakalářská práce, vedoucí: Richtář, M.

Bakalářská práce se zabývá provozním hodnocením pružení automobilů. Po úvodní části následuje přehled základních soustav odpružení, používaných u automobilů v současnosti. Dále je popsán experiment, ve kterém proběhla dvě měření účinnosti tlumičů kmitů čtyř užitkových automobilů a uvedeny možnosti diagnostiky účinnosti tlumičů. Poté následuje zhodnocení experimentu, z čehož je hrubým odhadem stanovena životnost měřených tlumičů a doporučena výměna těchto tlumičů na každém z vozidel.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MAHDAL, P. Operational Evaluation of Automobile Suspension Systems, Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 35 p. Bachelor Thesis, head: Richtář, M.

Bachelor thesis deals with Operational Evaluation of Automobile Suspension. The introductory section is followed by an overview of basic suspension system used in cars today. Further is described an experiment, in which two measurements of the effectiveness dampers of four commercial vehicles were taken and listed options of diagnostic effectiveness dampers. Followed by evaluation of the experiment, which is a gross estimate of life measured damper set and recommended replacement of the dampers on each commercial vehicle.

Obsah

Seznam použitých zkratk

1. Úvod	1
2. Legislativní stav	2
2.1 Požadavky na soustavy odpružení automobilu	2
3. Přehled současného stavu	3
3.1 Konvenční systémy	3
3.2 Adaptivní systémy	8
3.3 Semiaktivní systémy	8
3.4 Pomalé aktivní systémy	10
3.5 Rychlé aktivní systémy	11
4. Provozní hodnocení	13
4.1 Měřené automobily	13
4.2 Charakter provozu měřených vozidel	14
4.3 Způsoby testování tlumičů	15
4.3.1 Zkouška demontovaného tlumiče	15
4.3.2 Bezdemontážní zkoušky	16
4.3.2.1 Impulsní dokmitová zkouška	16
4.3.2.2 Rezonanční amplitudová zkouška	17
4.3.2.3 Rezonanční adhezní zkouška (EUSAMA)	17
5. Zhodnocení a doporučení	19
5.1 Zhodnocení měření a vyhodnocení změny rozkmitů	20
5.1.1 Měření č. 1	21
5.1.2 Měření č. 2 a vyhodnocení změny rozkmitů	25
5.2 Doporučení výměny tlumičů	30
6. Závěr	35

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam použitých zkratek

ABS	Anti-Blocking System
ASR	Anti-Skid Regulation
CDC	Continuous Damping Control
ESP	Electronic Stability Programme
EUSAMA	European Shock Absorbers Manufacturer
Hz	hertz
PSD	Position Sensitive Damping
VW	Volkswagen
atd.	a tak dále
km	kilometr
mm	milimetr
např.	například
obr.	obrázek
popř.	popřípadě
r. v.	rok výroby
s. r. o.	společnost s ručením omezeným
tab.	tabulka
viz.	lze vidět

1. Úvod

Při jízdě automobilu po vozovce se vlivem kmitavých pohybů přenášejí otřesy a rázy přes kola na karoserii vozidla, tedy i na cestující a náklad. Tento děj vedl k řešení problému, jak tyto kmity odstranit, nebo zmírnit na požadovanou mez ve snaze zlepšení pohodlí jízdy. Začaly se tedy vyrábět pohodlné sedadla, první gumové kolové pláště, které alespoň částečně zachycovaly rázy a vibrace od nerovností vozovky. Tyto prvky však byly účinné jen pro velmi malé nerovnosti a tak se na vozidla, mezi nápravy a kabinu pro sezení, začaly montovat pružiny, které dokázaly snížit frekvenci kmitu a zmírnit tvrdé rázy. Vozidlo se však začalo chovat velmi nestabilně, jako celek bylo rozhoupané a velmi špatně ovladatelné vlivem náklonů a tím ztrát styku kol s vozovkou. Cíl byl tedy vymyslet zařízení, které by dokázalo kmitání absorbovat (utlumit). Vznikaly tak první tlumiče a pružící soustavy, které se postupně zdokonalovaly až do dnešní podoby. V současnosti se v automobilovém průmyslu kladou nároky na bezpečnost a jízdní komfort, se zajištěním všestranného použití automobilu (dálnice, terén). Není tak snadné vytvořit soustavy odpružení, které by měly optimální tlumící charakteristiku. Z tohoto důvodu se stále více rozšiřují a zdokonalují pružící soustavy, které se chovají proměnlivě v závislosti na terénu a zatížení, popř. soustavy, které kromě dynamického přizpůsobení k zatížení eliminují také naklánění a nadnášení karoserie.

Přenášením rázů a vibrací od nerovností vozovky na automobil dochází u soustav odpružení k opotřebování tlumičů, proto je potřeba tyto tlumiče pravidelně testovat, aby byla zaručena bezpečnost cestujících a dostatečný komfort.

Cílem této práce bylo zhodnotit účinnost jednotlivých tlumičů u vybraných vozidel při jejich provozu, zjistit změnu účinnosti tlumičů po ujetí dalších cca 20 000 kilometrů od jejich prvního měření a z výsledků pro každý automobil stanovit hrubý odhad počtu najetých kilometrů, po kterém bude potřeba tlumiče vyměnit.

2. Legislativní stav

Jelikož se mi nepodařilo získat z dostupných zdrojů legislativu, která by určovala podmínky pro odpružení silničního vozidla, uvedl jsem alespoň obecné základní požadavky, na které je kladen při výrobě a hodnocení odpružení vozidla důraz.

2.1 Požadavky na soustavy odpružení automobilu

- a) Z hlediska optimálního jízdního pohodlí:
 - Malé zrychlení karoserie
 - Malá frekvence kmitání karoserie, vlastní frekvence a pružící dráhy nezávislé na zatížení
 - Progresivní tlumení v závislosti na zatížení vozidla a jízdním stavu
- b) Z hlediska vysoké bezpečnosti jízdy:
 - Co nejmenší změny zatížení na kola
 - Kinematika nápravy nezávislá na zatížení
 - Výšková regulace polohy těžiště vozidla
 - Dostatečné pružící dráhy a tlumení
 - poloha světlometů má být konstantní
- c) Z hlediska prostorových požadavků:
 - Malé prostory pro pružící elementy (malé vnější průměry a krátké konstrukční délky)
- d) Z hlediska druhu terénu a jízdních vlastností:
 - Možnost nastavení výškové polohy
 - Snížení úrovně vozidla vzhledem k podložce při vysokých rychlostech
 - Zvýšení světlé výšky vozidla v terénu

3. Přehled současného stavu

V dnešní době existuje několik variant soustav odpružení, které rozdělujeme dle regulace pružícího a tlumícího účinku během jízdy. Tyto soustavy jsou tvořeny pružícími a tlumícími prvky automobilu, popř. dalším příslušenstvím potřebným pro jejich funkčnost.

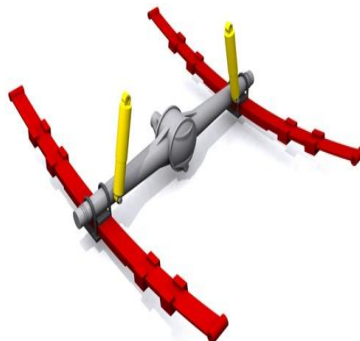
3.1 Konvenční systémy

Systémy mají během jízdy konstantní pružící a tlumící vlastnosti. Regulace účinku odpružení je u nich možná, ale omezená, protože se provádí pouze při stojícím vozidle. Změny pružících vlastností se docílí použitím jiných typů pružin. Změna tlumících vlastností se provádí škrcením průtokového kanálku v hydraulickém tlumiči šroubem [1].

Skládají se z pružin vinutých, listových nebo torzních a hydraulických tlumičů. Existuje mnoho konstrukčních uspořádání pružin a tlumičů.



Obr. 3.1 Vinuté pružiny s hydraulickými tlumiči



Obr. 3.2 Listové pružiny s hydraulickými tlumiči



Obr. 3.3 podélně uložena torzní tyč

Vinuté pružiny

Používají se hlavně u osobních automobilů, výjimečně u lehkých nákladních automobilů. Jsou vhodné díky malé hmotnosti pružiny, nepotřebují údržbu a mají jednoduché uložení. Oproti listovým pružinám nedokážou vést nápravu.

Jsou tvořeny z ocelového drátu. Stoupání pružiny musí být takové, aby při jejím maximální stlačení byla zajištěna dostatečná vůle mezi závity, jinak by pružina přenášela rázy z vozovky na vozidlo a byla by hlučná.

Progresivního odpružení se u vinutých pružin dosahuje změnou průřezu drátu pružiny, průměru pružiny, nebo výšky stoupání v určitém bodě pružiny.



Obr. 3.4 Progresivní vinutá pružina

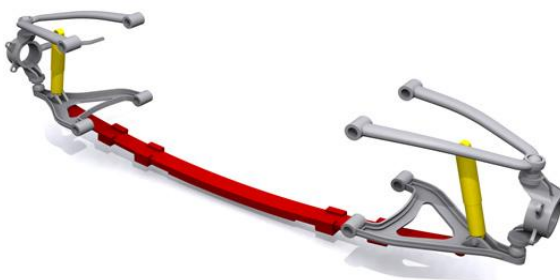
Listové pružiny

Používají se zpravidla u nákladních automobilů z důvodu přenášení bočních a podélních sil, a tím zajištění vedení nápravy vozidla. Často jsou také použity u zadních náprav užitkových vozidel, méně často pak u zadních náprav vozidel osobních.

Jsou tvořeny sadou listů spojených do jednoho celku pomocí třmenů. Obvykle se umísťují v podélném směru roviny, příčné umístění najdeme u zadních náprav osobních automobilů. Kvůli změně délky pružiny při propružení je jeden konec uchycen otočně a druhý kluzně v kluzné opoře. Na koncích pružiny jsou závěsná oka, která jsou tvořena svinutím dvou nejdelších listů. Do závěsných ok se lisují pouzdra z pryže s otvorem, do kterých se vkládají čepy pro uchycení pružiny k nástavbě.

Listové pružiny mají lineární charakteristiku průhybu pružiny na zatížení. Progresivního odpružení (aby vozidlo nebylo příliš tvrdé při jízdě bez zatížení a současně nebylo příliš měkké při plném zatížení) se dosahuje použitím stupňovité pružiny, která se získá spojením hlavní listové pružiny s přídatnou listovou pružinou.

V současné době se hodně používají parabolické pružiny, u nichž jsou listy válcované do parabolického tvaru. Zajišťují menší konstrukční hmotnost při stejném zatížení vozidla. U osobních automobilů se používá jednolistá pružina, u nákladních automobilů se používají pružiny složené ze dvou nebo tří parabolických listů. Stejně jako klasické listové pružiny vedou nápravu a při naklápění vozidla můžou sloužit jako torzní stabilizátor [2].



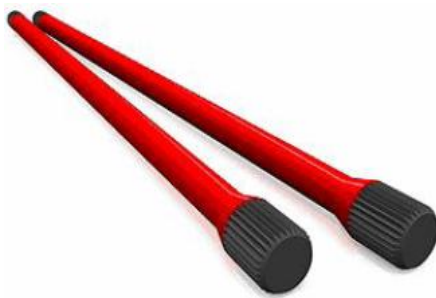
Obr. 3.5 Příčně uložená listová pružina

Torzní tyče

Používají se u předních i zadních náprav automobilů. Jejich funkce spočívá v zkrucování tyče po její podélné ose.

Jsou tvořeny tyčemi obvykle kruhového průřezu, na jejichž koncích jsou hlavice o větším průměru. Tyto hlavice bývají buď kruhového průřezu s drážkováním, nebo se pro přenos točivého momentu používají hlavice čtvercového nebo šestiúhelníkového průřezu. Jeden konec tyče je uchycen ke karoserii nebo rámu, druhý konec je spojen s ramenem kola. Při pohybu kola ve svislém směru se přes rameno natáčí tyčí v mezích její pružné deformace. Progresivity se docílí doplněním torzní tyče zkrutnou trubkou, která se po určitém zkroucení torzní tyče začne zkrucovat společně s ní [2].

Výhodami torzních tyčí jsou jejich malá hmotnost a stejně jako vinuté pružiny jsou téměř bezúdržbové. Jejich nevýhodou je, že jsou při jízdě v terénu náchylné na ohyb.



Obr. 3.6 Torzní tyč

Kapalinové tlumiče

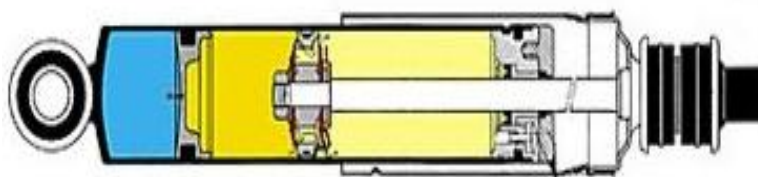
V současnosti se používají u většiny automobilů teleskopické dvojčinné kapalinové tlumiče. Mají za úkol tlumit kmity, které vznikají při přejezdu kola přes nerovnost a tím zabránit svislému kmitání karoserie.

Tlumiče pracují v obou směrech pohybu, jak při stlačení, tak i při roztahování. Aby zajišťovaly co nejlepší styk kol s vozovkou, musí mít tlumič při stlačování menší účinnost než při roztahování. Princip tlumiče spočívá v přetlačování kapaliny z jednoho vnitřního prostoru tlumiče do druhého prostoru otvorem určitého průřezu. Velikost průřezu tohoto otvoru zajišťuje škrcení průtoku oleje a tím se docílí požadované účinnosti tlumiče [3].

Z konstrukčního hlediska jsou tyto tlumiče dále rozděleny na několik druhů dle počtu plášťů, eliminace vzniku vzduchových bublin v kapalině a vyrovnáním změny objemu kapaliny v tlumiči vlivem různých teplot.

- **Jednoplášťový plynokapalinový tlumič**

Je složen z pístu se dvěma druhy škrtkících ventilů. Tlumení probíhá díky kapalinovému tření, k němuž dochází škrcením kapaliny při průchodu škrtkícími ventily. Dále využívá vyrovnávání rozdílů objemu pod pístem (v pracovním prostoru). To je zajištěno změnou objemu stlačeného vzduchu přímo v prostoru pracovního válce tlumiče. Plyn je od kapaliny tlumiče oddělen např. plovoucím pístem nebo jinými prvky, které zabráňují smíchání kapaliny a plynu. Tento tlumič pracuje jako vysokotlaký, tlak plynu se pohybuje v rozmezí 2-3 MPa [3].

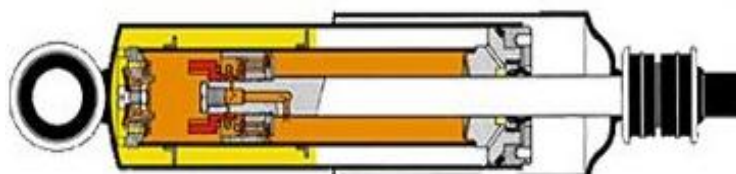


Obr. 3.7 Jednoplášťový plynokapalinový tlumič

- **Dvouplášťový kapalinový tlumič**

Pracuje na podobném principu jako jednoplášťový tlumič. Ve vnitřním (pracovním) válci vyplněném kapalinou se pohybuje píst s průtokovými ventily, který je upevněn na konci pístnice. Při pohybu pístu se kapalina protlačuje otvory průtokových ventilů z jedné oblasti pracovního prostoru do druhé. Hydraulický odpor vzniká při škrcení tohoto průtoku a je závislý na rychlosti pohybu pístu. Mezi pracovním a vnějším válcem je tzv. vyrovnávací prostor naplněný přibližně do poloviny kapalinou, který je spojen s atmosférou a oddělen od pracovního prostoru vyrovnávacím ventilem. Do vyrovnávacího prostoru je vytlačována kapalina o objemu, který v pracovním válci zaujímá zasunutá pístnice. Vyrovnávací prostor také kompenzuje objemové rozdíly vzniklé ohřevem kapaliny [3].

Tento tlumič se nesmí naklánět, protože hrozí vniknutí vzduchu z vyrovnávacího prostoru do pracovního válce.



Obr. 3.8 Dvouplášťový kapalinový tlumič

- **Dvouplášťový plynokapalinový tlumič**

Je konstrukčně a principiálně stejný jako dvouplášťový kapalinový tlumič. Velký rozdíl je však ve vyrovnávacím prostoru tlumiče, který není spojen s atmosférou a je v něm místo vzduchu dusík. Tlak dusíku se pohybuje mezi 0,2-0,8 MPa, proto tlumič označujeme jako nízkotlaký.

- **Polohově citlivý tlumič PSD**

Tlumič zajišťuje regulaci účinnosti tlumení v závislosti na poloze pístu tlumiče bez použití elektroniky. Účinnost tlumení vychází z předpokladu, že během klidné jízdy s velmi malou zátěží je zapotřebí jen malá tlumicí síla, která zajišťuje hlavně jízdní komfort. Na druhou stranu při zvýšeném zatížení závěsu kola je potřeba zvýšit tlumicí sílu pro zajištění maximálního kontaktu kola s vozovkou.

Princip funkce spočívá v konstrukční úpravě pracovního válce tlumiče, v jehož středu je vytvořen obtokový kanál, což způsobuje netěsnost mezi pístem a stěnou. Tlumič je v této střední části velmi měkký, čímž je dosažen potřebný jízdní komfort.

Tyto tlumiče vyrábí belgická firma Monroe. První generace se označuje jako Sensa-Trac. Druhá vylepšená generace se nazývá Safe-Tech. Ta má upravenou obtokovou drážku tak, že její přechody ze středu do konců jsou pozvolnější a ne tak strmé jako u předchozí generace. To zajišťuje lepší progresivitu tlumiče. Kromě této úpravy byla taky provedena změna v konstrukci škrtkých ventilů a použit nový druh tlumicího oleje, který má menší výchylky tlumicí síly při změnách teplot [4].



Obr. 3.9 Polohově citlivý tlumič Sensa-Trac

3.2 Adaptivní systémy

Tyto systémy jsou většinou doplňkovým prvkem konvenčního odpružení. Reguluje se účinnost tlumiče, pružina se nereguluje. Jde o přechod mezi konvenčním a aktivním odpružením.

Je ho možné řídit buď to pomocí přepínače na palubní desce, nebo je řízen automaticky, přičemž je automatické řízení nadřazeno přepínači. Tlumič má převážně jen dvě charakteristiky, jednu měkkou a druhou tvrdou. Takže si řidič přepne z jedné charakteristiky na druhou, nebo řídící jednotka sleduje pomocí senzorů chování vozu a přepíná mezi jednotlivými charakteristikami. Při přepnutí na tvrdou charakteristiku se preferuje bezpečnost nad pohodlím a u měkké charakteristiky je tomu naopak. Toho se využívá hlavně při jízdě po rovné vozovce (tvrdá charakteristika). Naproti tomu na silnici s většími nerovnostmi budeme preferovat měkkou charakteristiku, která bude zaručovat pohodlí cestujícím (měkká charakteristika). Doba, po kterou je sepnuta jedna nebo druhá charakteristika, je poměrně dlouhá. Z toho vyplývá, že frekvence přepínání adaptivních systémů je nižší, než frekvence kmitání soustavy [5].

3.3 Semiaktivní systémy

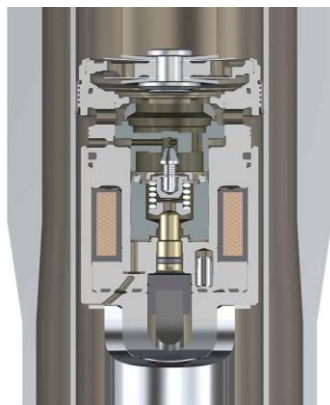
Tyto systémy se v současnosti stále více rozšiřují z drahých osobních automobilů i do nižších středních tříd. Vyznačují se obecně velkou spolehlivostí, nízkou hmotností a malou energetickou náročností.

Také u těchto systémů se reguluje jen tlumič, nikoliv pružina. Jeho pracovní oblast není omezena několika charakteristikami, jako je tomu u adaptivních tlumičů, ale má jich teoreticky nekonečně mnoho. Z toho plyne, že může být regulován každý bod charakteristiky. Tato charakteristika se přenastavuje v řádech milisekund podle aktuální potřeby. Tím je možno tlumit nejen frekvence karoserie, ale i nápravy [5].

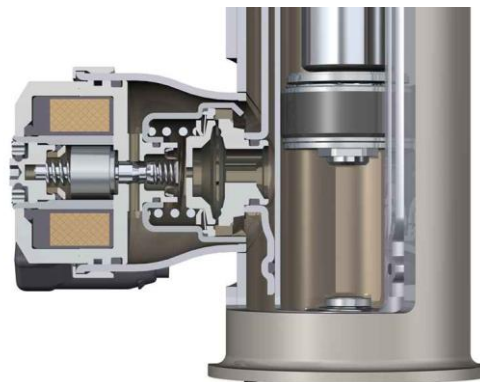
CDC tlumiče

Tyto tlumiče vyvinula firma ZF Sachs. Jedná se o aktivní tlumiče, jejichž nejdůležitější částí je řídící ventil. Elektromagneticky nastavitelný pohyblivý člen uzavírá nebo otevírá průtočné kanály a tím zmenšuje či zvětšuje průtok kapaliny skrz planžety zpětného ventilu.

Tlumič je plynule nastavitelný od měkkého naladění až po tvrdou charakteristiku, řídící jednotka zjišťuje každé 2 milisekundy aktuální potřebu tlumení a následně upravuje až 20x za sekundu proud, který ovládá pohyb pístku. ZF Sachs vyvinul nejprve aktivní tlumič s proporcionálním ventilem elegantně zabudovaným do pístu tlumiče. Funkce této verze (označované CDCi) by se dala přirovnat k dvouplášťovému tlumiči s plynule proměnlivými průtočnými ventily. Prostorově úspornější řešení CDCe (external valve), použité u posledního modelu vozu Opel Astra, má ovládací elektromagnetický ventil mimo těleso tlumiče, v samostatném bypassu. Obě verze vyžadují velmi nízký příkon pro ovládání změny průtočných průřezů. Proud se pohybuje v rozmezí 0 až 1,8 A, pokud je zařízení v činnosti, potřebuje příkon asi 15 W. V případě výpadku palubního napětí ztrácí systém adaptivní funkci a pružina odsune řídící ventil do sportovní (tvrdé) polohy, která preferuje bezpečnost před komfortem [6].



Obr. 3.10 CDCi tlumič



Obr. 3.11 CDCe tlumič

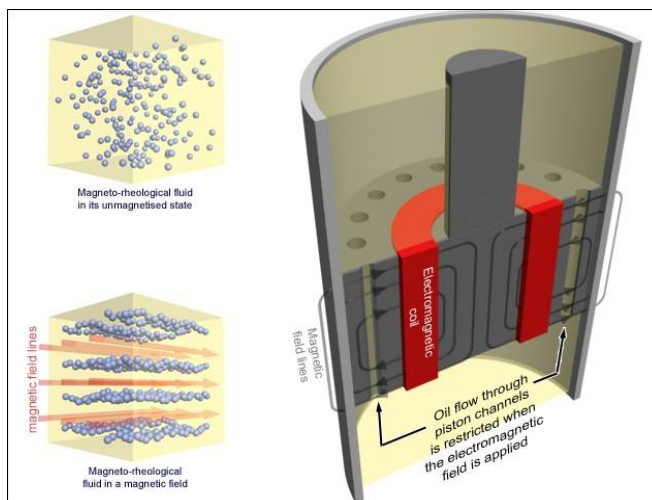
Systém MagneRide

Tento systém vyvinula firma Delphi. Představen byl v roce 2002 ve vozech Cadillac Seville, poté jej použila firma Audi a uvedla jej na trh v roce 2006 ve svých vozech Audi TT. Jedná se o novou technologii magnetoreologických semiaktivních tlumičů, což jsou zvláštní typy jednoplášťových tlumičů, které jsou naplněny magnetoreologickou kapalinou.

Magnetoreologická kapalina je vlastně olej smíchaný s malými částicemi vyrobenými z měkkého magnetického železa, které mají rozměr asi 3-5 μm . Při průchodu elektrického proudu se tyto částice zpolarizují a se změnou velikosti, popř. směru elektrického proudu, se mění jejich viskozita od viskozity kapaliny až po téměř tuhé těleso.

Píst, který se pohybuje uvnitř tlumiče skrz kapalinu, má v sobě průtokové otvory, kterými tato kapalina proudí. Samotný píst má ve svém jádře cívku, která indukuje magnetické pole. Elektrický proud je do cívky dodáván skrz pístní tyč. Uvnitř magnetického pole

se drobné zmagnetizované částice přeskupují tak, aby ležely převážně napříč tlumiče. Jelikož se píst tlumiče snaží vytlačit olej do spodní nebo horní části skrz průtokové kanály, napříč uspořádané částice kladou tomuto pohybu větší odpor (snižuje se viskozita kapaliny), čímž se docílí regulace pohybu pístu.



Obr. 3.12 Magnetoreologický tlumič

Systém má centralizovanou řídicí jednotku, která posílá signály k cívkám v každém tlumiči. Řídicí jednotka stále analyzuje pohyby vozu a nastavuje sílu magnetického pole podle aktuální potřeby. Protože v systému nejsou žádné další pohyblivé díly, které by snižovaly reakci schopnost, patří tento systém mezi ty rychlejší systémy tlumení. Dá se říct, že systém reaguje na změny v reálném čase, protože rychlost jeho odezvy je 2ms. Uvádí se, že tento systém je daleko rychlejší než jakýkoliv dnes používaný aktivní systém. Protože velikost proudu dodávaného cívkce může být téměř nekonečně rozmanitá, má tlumič širokou škálu nastavení [7].

Celý tento systém je velice výhodný, nezabírá tolik místa jako většina ostatních a napájecí výkon se pohybuje kolem 5W. Samotný tlumič není moc náchylný na prostředí, ve kterém je provozován. Jeho provozní podmínky jsou v rozmezí -40 až 110°C, kdy je zaručena funkčnost tohoto systému beze změn.

3.4 Pomalé aktivní systémy

U aktivních systémů (pomalých i rychlých) je regulován jak tlumič, tak i pružina. Díky regulaci pružiny se může snadno změnit světlá výška vozidla nebo změna tuhosti

závěsu v závislosti na stylu jízdy a stavu vozovky. Toho lze dosáhnout zvýšením tlaku plynu u hydropneumatického tlumiče nebo změnou tlaku vzduchu u vzduchových pružin.

Pružiny nebo tlumiče jsou ovládány pomocí servomotorů, čerpadel, kompresorů řízených pomocí řídicího systému, který získává potřebné informace ze snímačů polohy kola, zatížení kola a zrychlení ve svislém směru. Dalším okruhem řídicí jednotky jsou senzory, které sledují užitečné zatížení vozu. To znamená, že řídicí jednotka si stále hlídá konstantní světlou výšku automobilu (naložení, vyložení nákladu). Pomalé aktivní systémy pracují v oblasti do 5Hz, což je oblast zahrnující pouze kmitání karoserie. Abychom mohli pracovat i v oblasti kmitání nápravy, musí mít systém rychlejší odezvu (ta se pro nápravu pohybuje v oblasti kolem 20Hz) [5].

3.5 Rychlé aktivní systémy

Rychlé aktivní systémy se dnes velmi rozšiřují. Levnější varianty vychází z pomalých aktivních závěsů, ale jejich jednotlivé řídicí komponenty (jako jsou např. čerpadla, kompresory, servomotory a ventily) jsou nahrazeny výkonnějšími a rychlejšími součástkami.

Změny charakteristik tlumení probíhají mnohem rychleji (pracovní oblast dosahuje až 25Hz), rychlosti odezvy se u těchto systémů pohybují v řádech setin sekund. Toho se využívá nejen pro samotné tlumení, ale i pro regulaci nežádoucích náklonů karoserie. Tím je myšleno tzv. "potápění" při brzdění, kdy se přední část vozu snižuje a zadní se zvedá, nebo opačný jev při akceleraci a také nebezpečné náklony při průjezdu zatáčkou, kdy se karoserie naklání vždy na jednu stranu. Existuje mnoho variant těchto systémů, ale jen málo z nich je dost spolehlivých a cenově dostupných, aby se daly použít pro sériovou výrobu. Všechny aktivní systémy jsou také velmi energeticky náročné, a proto se mohou využívat jen u výkonnějších vozů, kterým odebírají část výkonu motoru [5].

Systém Airmatic

Systém Airmatic byl vyvinut firmou Mercedes-Benz. Skládá se z pneumatických pružících jednotek, které jsou kombinací vzduchových pružin a plynokapalinových tlumičů (konstrukce tlumiče podobná systémům CDC).

Jednotka je automaticky regulována nahuštěním vzduchových komor. Regulace zajišťuje korekci výšky vozidla na základě snímání zatížení. Systém mění světlou výšku v závislosti na rychlosti automobilu a reguluje jeho náklony [8].



Obr. 3.14 Airmatic pružicí jednotka

Systém Bose

Tento systém představila v roce 2004 firma Bose Corporation. Jedná se o funkční prototyp odpružení pod názvem Bose Suspension System. Systém používá lineární elektromotory, které jsou obsluhovány řídicí jednotkou. Odezva tohoto systému je jen 1ms což je velmi efektivní.

Další výhodou tohoto aktivního podvozku je znovuzískání energie z lineárních elektromotorů. Princip činnosti je stejný jako u elektromobilů, které přeměňují pohybovou energii při brzdění na elektrickou energii, kterou ukládají do trakčních akumulátorů. Lineární elektromotory navíc při propružení kola generují energii, která se ukládá do vysokovýkonných kondenzátorů nazvaných Ultra-Caps a jež je později využita k vyvolání vhodného tlumícího účinku. Znovuzískaná energie umožňuje dosáhnout velmi malého příkonu systému tlumení, který se rovná asi třetině příkonu klimatizace. Systém pracuje s napětím 300V, palubní síť však zůstává na 12V [7].



Obr. 3.15 Regulace naklápění karoserie u systému Bose



Obr. 3.16 Lineární motor systému Bose

4. Provozní hodnocení

Provozem automobilu na pozemních komunikacích dochází vlivem nerovností na vozovce k přenášení kmitů a rázů do podvozku, čímž dochází k opotřebování tlumičů kmitů a zhoršení jejich technického stavu. To má za následek řadu negativních projevů:

- snižuje se účinnost brzd a tím se zvětšuje brzdná dráha
- zvyšuje se riziko smyku na mokrému povrchu vozovky
- vozidlo tzv. „plave“ i při nižších rychlostech
- snižuje se ovladatelnost při změně směru jízdy vozidla
- snižují se účinnosti systémů podvozku (ABS, ESP, ASR)
- zvyšuje se opotřebení pneumatik
- vozidlo osvětluje protijedoucí vozidla vlivem naklánění a kmitání světlometů
- snižuje se jízdní pohodlí cestujících a zvyšuje únava řidiče

Kvůli zamezení těchto negativních projevů, které snižují celkovou bezpečnost cestujících i ostatních účastníků silničního provozu, je zapotřebí tlumiče pravidelně proměřit a zjistit tak jejich účinnost [9].

V rámci provozního hodnocení pružení jsem na čtyřech automobilech provedl experiment, jehož cílem bylo zjistit účinnost tlumičů kmitů na jednotlivých vozidlech a jejich další opotřebení po ujetí vzdálenosti cca 20 000 kilometrů od prvního měření. Nejprve jsem tedy provedl první měření na všech vozidlech a zhodnotil účinnost tlumičů, další měření jsem prováděl jednotlivě po ujetí vzdálenosti cca 20 000 kilometrů (od prvního měření) na každém z vozidel. Z výsledků prvního a druhého měření jsem zjistil změnu velikosti rozkmitu (opotřebení) každého tlumiče. Z výsledků experimentu jsem za pomoci lineárního průběhu stanovil hrubý odhad počtu najetých kilometrů u jednotlivých vozidel, kdy by měly tlumiče dosáhnout mezní hodnoty opotřebení. Z odhadu jsem pak doporučil vhodnou výměnu tlumičů na každé z náprav měřených automobilů.

4.1 Měřené automobily

K zjištění opotřebení tlumičů jsem vybral čtyři užitkové automobily, jejichž vlastníkem je firma Altech s. r. o., zabývající se řešením bezbariérových přístupů, výrobou, montáží a prodejem šikmých a svislých schodišťových plošin.

Popis měřených vozidel:

- **Citroën Berlingo** vyrobený v roce 2007, poháněný přeplňovaným vznětovým čtyřválcovým motorem o zdvihovém objemu 1560 cm³ a výkonu 66 kW. Vozidlo mělo před prvním měřením tlumičů najeto 45 800 kilometrů. Automobil má přední nápravu odpruženou pomocí vinutých pružin a hydraulických tlumičů, o odpružení zadní nápravy se starají příčně uložené torzní tyče společně s hydraulickými tlumiči.
- **Volkswagen Caddy** vyrobený v roce 2003, poháněný atmosférickým vznětovým čtyřválcovým motorem o zdvihovém objemu 1896 cm³ a výkonu 47 kW. Vozidlo mělo před prvním měřením tlumičů najeto 180 621 kilometrů. Automobil má přední nápravu odpruženou pomocí vinutých pružin a hydraulických tlumičů, zadní náprava je odpružená listovými pružinami a hydraulickými tlumiči.
- **Volkswagen LT 35** vyrobený v roce 2002, poháněný přeplňovaným vznětovým pětiválcovým motorem o zdvihovém objemu 2461 cm³ a výkonu 80 kW. Vozidlo mělo před prvním měřením tlumičů najeto 268 795 kilometrů. Automobil má stejně jako předchozí vozidlo přední nápravu odpruženou pomocí vinutých pružin a hydraulických tlumičů, zadní náprava je odpružená listovými pružinami a hydraulickými tlumiči.
- **Volkswagen LT 35** vyrobený v roce 2000, poháněný přeplňovaným vznětovým pětiválcovým motorem o zdvihovém objemu 2461 cm³ a výkonu 80 kW. Vozidlo mělo před prvním měřením tlumičů najeto 369 141 kilometrů. Automobil má také přední nápravu odpruženou pomocí vinutých pružin a hydraulických tlumičů, zadní náprava je odpružená listovými pružinami společně s hydraulickými tlumiči.

Fotografie vozidel jsou uvedeny v přílohách 8.1, 8.2, 8.3, 8.4.

4.2 Charakteristika provozu měřených vozidel

Měřené automobily plnily z provozního hlediska dvě funkce. Vozidla Volkswagen LT 35 (r.v.2002) a Volkswagen LT 35 (r.v.2000) byla využívána jako montážní, přičemž vozila šikmé a svislé schodišťové plošiny v rozloženém stavu, které byly po převozu z firmy Altech s. r. o. k zákazníkovi následně smontovány. Vozidla vyjížděla třikrát týdně po celý rok plně naložena a obsazena dvěma montéry.

Citroën Berlingo a Volkswagen Caddy sloužila jako servisní vozidla, ve kterých se převážely potřebné díly schodišťových plošin do místa opravy. Vozidla jezdila pětkrát do týdne po celý rok, obsazena jedním servisním pracovníkem, naložena náhradními díly.

Všechny měřené automobily jezdily po celém území České republiky, převážně po dálnicích a silnicích první třídy. Provoz vozidel mezi prvním a druhým měření probíhal v zimním období na zimních pneumatikách, na kterých proběhla i samotná měření.

4.3 Způsoby testování tlumičů

Měření účinnosti tlumiče můžeme vykonávat přímo na demontovaném tlumiči upnutém ve speciálním zařízení, nebo bezdemontážně přímo na vozidle.

4.3.1 Zkouška demontovaného tlumiče

Měření přímé na demontovaném tlumiči je mnohem přesnější než bezdemontážní, jelikož lze předem navolit rychlost stlačování a roztahování tlumiče. Z tohoto důvodu se měření přímé využívá hlavně ve výzkumných a vývojových laboratořích. Nevýhodou této zkoušky však zůstává časová náročnost, kvůli níž se v běžném provozu využívá raději zkoušek bezdemontážních.

Samotné měření probíhá na zkušebních stolicích, kdy se tlumič upne do zkušební stolice, je rozkmitán kinematickým buzením a měří se hodnota vyvozované síly tlumičem. Změnou rychlosti stlačování a roztahování tlumiče se získají jednotlivé body charakteristiky tlumiče.



Obr. 4.1 Zkušební stolice Inova FU160

4.3.2 Bezdemontážní zkoušky

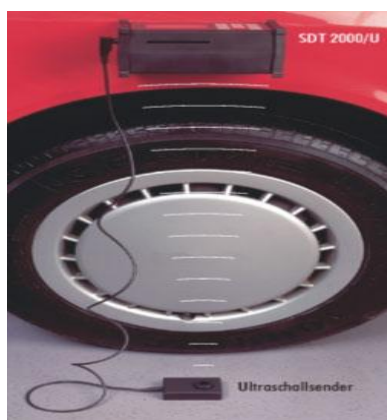
U bezdemontážního zkoušení tlumičů je hlavní nevýhodou fakt, že se do výsledku účinnosti tlumiče můžou promítnout i případné vûle v zavěšení kola, typ pneumatik popř. jejich nahuštění. Proto je nutné před měřením zkontrolovat vûle v nápravách a tlak v pneumatikách, aby bylo docíleno optimálních výsledků. Automobily by měly být před měřením vždy vyložené, aby hmotnost nákladu nezkreslovala výsledky zkoušky.

Měření tlumičů probíhá přímo na vozidle, čímž je docílena nízká náročnost provedení zkoušky a rychlost měření, což jsou hlavní důvody zavedení těchto zkoušek.

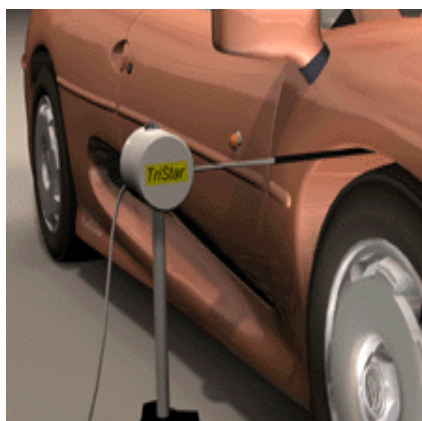
4.3.2.1 Impulsní dokmitová zkouška

U této metody je po vynuceném propružení automobilu sledován pohyb karoserie, ze kterého se vyhodnocuje měrný útlum odpružené hmoty vozidla. Vybuzení kmitání odpružené hmoty vozidla je způsobeno jednorázovým impulsem, který se realizuje buďto ručním stlačením, nebo pádem vozu z malé výšky, čímž zajistíme optimální propružení automobilu. Následný pohyb je snímán ultrazvukovým přístrojem připevněným přísavkami na karoserii automobilu (M-Tronic SDT 2000/U), nebo pomocí ramena s odporovým snímačem polohy, které je umístěno mezi blatníkem a kolem automobilu (Tristar shock). Naměřený signál je zpracován přístrojem a výsledný protokol objektivně znázorní technický stav tlumičů vozidla [10].

Výhodou této zkoušky je měření pouze odpružené hmoty vozidla, čímž se částečně eliminují případné vûle v neodpružené hmotě vozidla. Dalším plusem jsou malé rozměry a mobilita zařízení. Nevýhodou však zůstává nemožnost měření užitkových a nákladních vozidel z důvodu špatné realizace dostatečného stlačení karoserie.



Obr. 4.2 M-Tronic SDT 2000/U

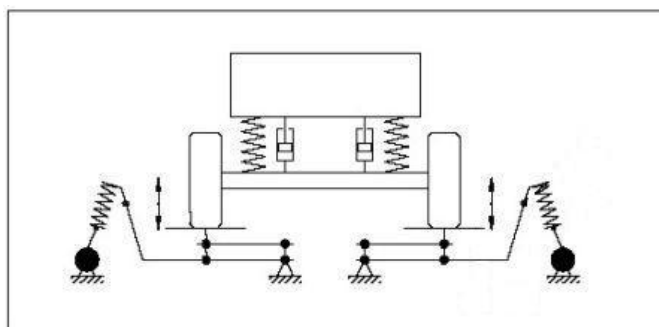


Obr. 4.3 Tristar shock

4.3.2.2 Rezonanční amplitudová zkouška

Při kontrole tlumičů rezonanční metodou se nuceně vybudí neodpružená hmota vozidla (kola, zavěšení kol, náprava, atd.) rozkmitáním plošiny, na kterou je najeto měřenými koly, až do hranice kritického kmitočtu. V okamžiku vyřazení zdroje kmitání (elektromotoru) kmitá neodpružená hmota přes rezonanční oblast až do úplného útlumu, přičemž je mechanicky nebo elektronicky indikován rozkmit plošiny. Největší hodnota tohoto rozkmitu je vlastně mírou tlumicího účinku měřeného tlumiče. Čím větší je rozkmit, tím menší je účinnost tlumiče. Naměřená hodnota největšího rozkmitu se u starších testerů porovnává ručně s mezní hodnotou rozkmitu dodanou výrobcem testeru, u novějších zařízení si ji počítač porovná s automaticky vygenerovanou mezní hodnotou (dle typu vozu, okolních podmínek) a objektivně vyhodnotí stav tlumiče [11].

Mezi výhody této zkoušky patří fakt, že tester velmi blízce napodobuje podmínky běžného provozu nuceným rozkmitáním plošiny až na hranici kritického kmitočtu, čímž dokáže objektivně posoudit stav tlumiče. Další výhodou je měření užitkových vozidel, což je u zkoušky impulsní těžce realizovatelné. Nevýhodami jsou velké rozměry zařízení vůči impulsnímu dokmitovému testeru a nutnost správného zadání vstupních údajů o vozidle k docílení optimálních výsledků.



Obr. 4.4 Schéma rezonanční amplitudové zkoušky

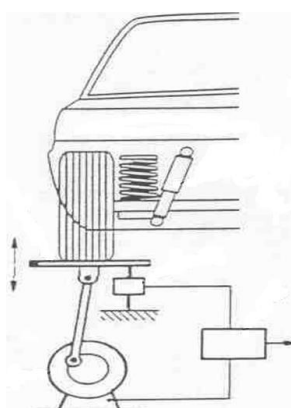
4.3.2.3 Rezonanční adhezní zkouška (EUSAMA)

Tato metoda vyhodnocuje přitlačnou sílu kola k vozovce. Vozidlo se přistaví na zkušební plošinu a změří se hmotnost, kterou působí jednotlivými koly na podložku. Poté se zkušební plošina s koly nuceným vybuzením rozkmitá a měří se nejmenší přitlačná síla kol k podložce. Ta se pak procentuálně vyhodnocuje na pět stavů:

- 80-100 % vynikající

- 60-80 % velmi dobrý
- 40-60 % dobrý vyhovující
- 20-40 % vyhovující špatný
- 0-20 % nevyhovující

Stejně jako u zkoušky rezonanční amplitudové je u této zkoušky výhodou, že tester napodobuje podmínky běžného provozu nuceným rozkmitáním plošiny až na hranici kritického kmitočtu, čímž může objektivně posoudit stav tlumiče. Nevýhodami zůstávají velké rozměry zařízení vůči impulsnímu dokmitovému testeru a potřeba přesného zadání vstupních údajů o vozidle k dosažení dobrých výsledků.



Obr. 4.5 Schéma rezonanční adhezní zkoušky

5. Zhodnocení a doporučení

Měření probíhala na zařízení Shocktester 200 EFD, vyrobeném německou firmou ZF Sachs AG, pracujícím na rezonančním amplitudovém principu (viz. kapitola 4.3.2.2). U tohoto typu zařízení se rozkmit plošiny měří ultrazvukovými snímači, z kterých se naměřený signál přenáší do ovládacího modulu, kde se zpracovává a následně přeposílá do počítače. Ten pomocí vhodného softwaru objektivně vyhodnotí účinnost tlumiče v podobě srovnání největší naměřené hodnoty rozkmitu tlumiče s mezní hodnotou rozkmitu tlumiče, vygenerovanou počítačem dle předem navolených údajů o vozidle [12].

U automobilů byl před každým z měření zkontrolován tlak v pneumatikách, vyložen veškerý náklad a zkontrolován technický stav celého podvozku (vůle v nápravách, těsnost tlumičů, zda není některá z pružin prasklá), aby byla měření co nejobjektivnější a zamezilo se případnému zkreslení naměřených hodnot.



Obr. 5.1 Sachs Shocktester 200 EFD

Postup měření na zařízení Sachs Shocktester 200 EFD:

- Vozidlem najedeme na zkušební plošiny tak, aby nestálo mimo střed plošiny a na deskách pro kola šikmo.
- Vypneme motor, zařadíme neutral, ruční brzdu necháme uvolněnou.
- Do počítače zadáme údaje o vozidle: značku výrobce, model a typ (dle zdvihového objemu motoru), počet ujetých kilometrů.
- Tlačítkem na klávesnici počítače zahájíme průběh zkoušení, na ovládacím modulu se rozsvítí červený majáček, který signalizuje započetí a průběh zkoušky, po ukončení příslušného zkoušení nápravy se rozsvítí zelený majáček, což signalizuje konec zkoušky.
- Poté najedeme na zkušební plošinu zadní nápravou vozidla, opět zahájíme průběh zkoušení pomocí tlačítka na klávesnici. Rozsvícení červeného majáčku nám oznámí začátek zkoušky, rozsvícení zeleného majáčku konec zkoušky.

- Naměřené výsledky se zobrazí na monitoru počítače.
- Vytiskneme zkušební protokol s naměřenými výsledky.

5.1 Zhodnocení měření a vyhodnocení změny rozkmitů

V protokolu s naměřenými výsledky se vyobrazí grafy rozkmitu tlumičů a naměřená hodnota největšího rozkmitu každého z tlumičů uvedena v milimetrech. Dále jsou v protokolu uvedeny mezní hodnoty rozkmitu tlumičů přední nápravy a tlumičů zadní nápravy (taktéž v milimetrech). Porovnáním naměřených hodnot s mezními hodnotami zjistíme účinnost tlumiče.

Za účelem názornějšího zhodnocení všech čtyř tlumičů každého vozidla jsem u obou měření přepočítal naměřené hodnoty do procentuální podoby, kde mezní hodnota uvedená pro tlumiče každé z náprav vyjadřuje 100 procent rozkmitu tlumiče. Tyto hodnoty jsem vynesl do grafu. Pokud některá z naměřených hodnot (převedených do procent) překročí hodnotu 100 procent, stává se tlumič vadným. Pro objektivnost uvádím vzorový výpočet č. 1, v němž jsem pomocí přímé úměry přepočítal naměřené hodnoty z milimetrů do procent. Uvedený výpočet platí pro hodnoty z prvního měření vozidla Citroën Berlingo.

Po přepočtu hodnot z druhého měření do procent jsem do grafů s výsledky z druhého měření (vínové sloupce) uvedl i výsledky z prvního měření (modré sloupce), z čehož jsem vyhodnotil výslednou změnu rozkmitu tlumičů, kterou jsem vypsál do tabulky.

Vzorový výpočet č. 1:

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty rozkmitu tlumičů vozu Citroën Berlingo, viz. příloha 8.5

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	22	Levý tlumič	30
Pravý tlumič	22	Pravý tlumič	28
Mezní hodnota	49	Mezní hodnota	60

- Levý tlumič přední nápravy:

$$49 \text{ mm} \dots\dots\dots 100 \%$$

$$22 \text{ mm} \dots\dots\dots x \%$$

$$x = 22 / 49 * 100$$

$$x = \underline{45 \%}$$

- Právý tlumič přední nápravy:

49 mm	100 %
22 mm	x %
$x = 22 / 49 * 100$	
$x = \underline{45 \%}$	
- Levý tlumič zadní nápravy:

60 mm	100 %
30 mm	x %
$x = 30 / 60 * 100$	
$x = \underline{50 \%}$	
- Právý tlumič zadní nápravy:

60 mm	100 %
28 mm	x %
$x = 28 / 60 * 100$	
$x = \underline{47 \%}$	

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty rozkmitu tlumičů Citroënu Berlingo přepočtené do procent

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	45	Levý tlumič	50
Právý tlumič	45	Právý tlumič	47

5.1.1 Měření č. 1

Toto měření proběhlo na všech čtyřech automobilech zařazených do experimentu dne 6. 12. 2008. Po každém změření vozidla byl vytištěn zkušební protokol s naměřenými výsledky, který je pro každé z vozidel uveden v příloze 8.5, 8.6, 8.7, 8.8. Počty najetých kilometrů jednotlivých vozidel před prvním měřením jsou uvedeny v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Počty najetých kilometrů u měřených vozidel (měření č. 1)

Měřený automobil	Najeté km
Citroen Berlingo	45 800
VW Caddy	180 621
VW LT35 (r. v. 2002)	268 795
VW LT35 (r. v. 2000)	369141

Naměřené výsledky u měření č. 1 a zhodnocení:

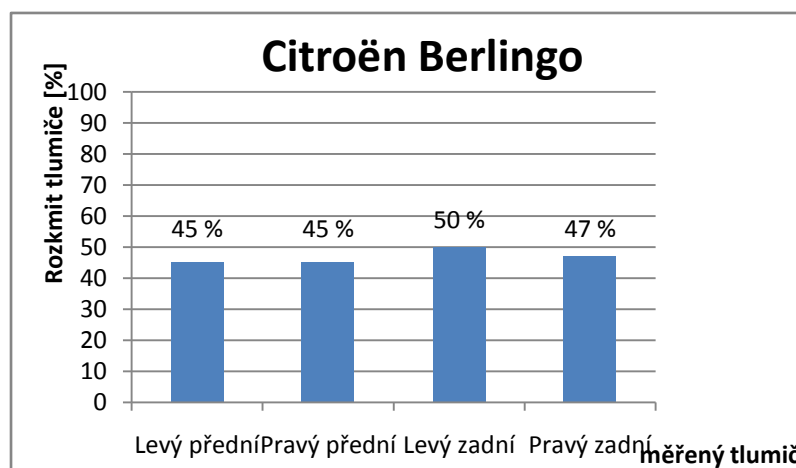
1) Citroën Berlingo

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.5

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	22	Levý tlumič	30
Pravý tlumič	22	Pravý tlumič	28
Mezní hodnota	49	Mezní hodnota	60

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	45	Levý tlumič	50
Pravý tlumič	45	Pravý tlumič	47



Obr. 5.2 Graf rozkmitů tlumičů vozidla Citroën Berlingo

Z grafu na obr. 5.2 lze vyčíst, že žádný z naměřených rozkmitů tlumičů vozidla Citroën Berlingo nepřesáhl mezní hodnotu rozkmitu (100%), takže tlumiče v testu vyhověly. Tlumiče mají ještě velkou rezervu rozkmitu (nejhorší 50%) k překonání mezní hodnoty. Z testu vykazují nejlepší účinnost tlumiče přední nápravy, po nich následuje pravý tlumič zadní nápravy, nejhorší účinnost má levý tlumič zadní nápravy.

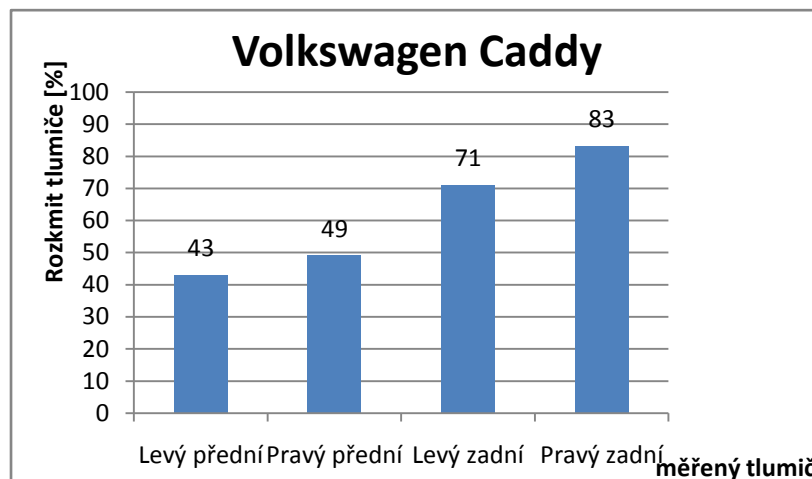
2) Volkswagen Caddy

Tab. 5.4 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.6

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	22	Levý tlumič	45
Pravý tlumič	25	Pravý tlumič	52
Mezní hodnota	51	Mezní hodnota	63

Tab. 5.5 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	43	Levý tlumič	71
Pravý tlumič	49	Pravý tlumič	83

**Obr. 5.3** Graf rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen Caddy

Graf na obrázku 5.3 zobrazuje, že naměřené hodnoty rozkmitu všech tlumičů vozidla Volkswagen Caddy nepřesáhly mezní hodnotu rozkmitu (100%). Dobře jsou na tom tlumiče přední nápravy, které nepřesáhly ani 50 procent rozkmitu, avšak tlumiče zadní nápravy už jeví větší známky opotřebení, nicméně v testu vyhověly. U tohoto vozidla má nejlepší účinnost levý tlumič přední nápravy, za ním následuje pravý tlumič přední nápravy, od něhož hodně zaostává levý tlumič zadní nápravy. Nejhorším tlumičem měřeného vozidla je pravý tlumič zadní nápravy.

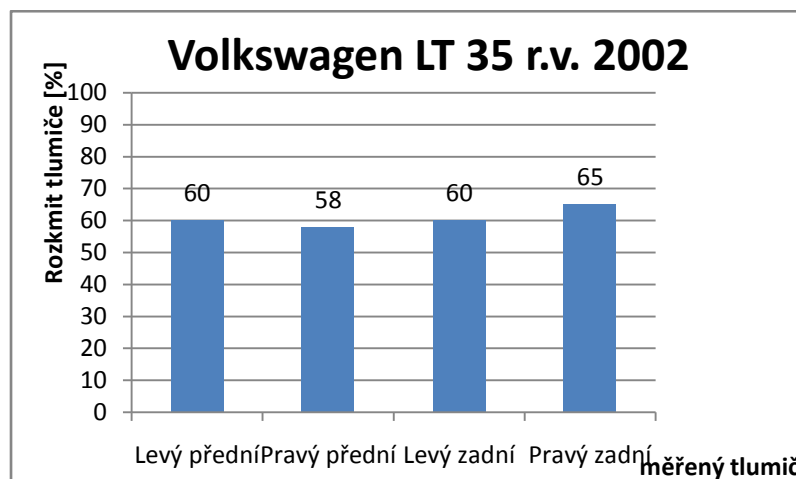
3) Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

Tab. 5.6 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.7

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	24	Levý tlumič	26
Pravý tlumič	23	Pravý tlumič	28
Mezní hodnota	40	Mezní hodnota	43

Tab. 5.7 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	60	Levý tlumič	60
Pravý tlumič	58	Pravý tlumič	65



Obr. 5.4 Graf rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

Z grafu na obr. 5.4 jde vidět, že ani jedna z naměřených hodnot rozkmitu tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002) nepřesáhla mezní hodnotu rozkmitu (100%) a všechny tlumiče mají ještě dostatečnou rezervu k překonání mezní hodnoty rozkmitu, tudíž v testu vyhověly. Nejlepší účinnost má pravý tlumič přední nápravy, za ním následuje levý tlumič přední nápravy společně s levým tlumičem zadní nápravy, nejhorším tlumičem je pravý tlumič zadní nápravy.

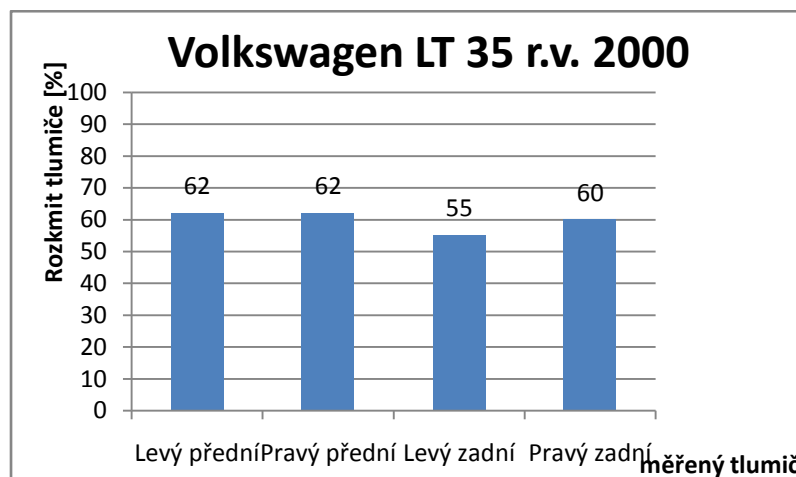
4) Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Tab. 5.8 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.8

Přední náprava	roz kmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	roz kmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	24	Levý tlumič	23
Pravý tlumič	24	Pravý tlumič	25
Mezní hodnota	39	Mezní hodnota	42

Tab. 5.9 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	roz kmit tlumiče [%]	Zadní náprava	roz kmit tlumiče [%]
Levý tlumič	62	Levý tlumič	55
Pravý tlumič	62	Pravý tlumič	60



Obr. 5.5 Graf rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Graf na obr. 5.5 ukazuje, že žádný z naměřených rozkmitů tlumičů u vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000) nepřesáhl mezní hodnotu rozkmitu (100%), takže tlumiče v testu vyhověly. Všechny tlumiče mají ještě dostatečnou rezervu k překonání mezní hodnoty rozkmitu. Z testu vykazuje nejlepší účinnost levý tlumič zadní nápravy, po něm následuje pravý zadní tlumič. Nejhorší účinnost mají tlumiče přední nápravy.

5.1.2 Měření č. 2 a vyhodnocení změny rozkmitů

Jelikož měřené automobily nejezdily stejné trasy, bylo potřeba provést druhé měření u každého z vozidel zvlášť, v době, kdy každé vozidlo najelo dalších cca 20 000 kilometrů od hodnoty počtu najetých kilometrů u prvního měření. Počet najetých kilometrů před druhým měřením a datum měření každého z vozidel jsou uvedeny v tab. 5.10. Zkušební protokoly z druhého měření jsou uvedeny v přílohách 8.9, 8.10, 8.11, 8.12.

Tab. 5.10 Počet najetých kilometrů a datum druhého měření každého z vozidel

Měřený automobil	Najeté km	Datum měření
Citroen Berlingo	65 937	17. 3. 2009
VW Caddy	200 724	9. 3. 2009
VW LT35 (r. v. 2002)	289 076	27. 3. 2009
VW LT35 (r. v. 2000)	389 481	23. 3. 2009

Tab. 5.11 Počet najetých kilometrů mezi prvním a druhým měřením každého z vozidel

Měřený automobil	Najeté km
Citroen Berlingo	20 137
VW Caddy	20 103
VW LT35 (r. v. 2002)	20 281
VW LT35 (r. v. 2000)	20 340

Naměřené výsledky u měření č. 2 a vyhodnocení změny rozkmitu:

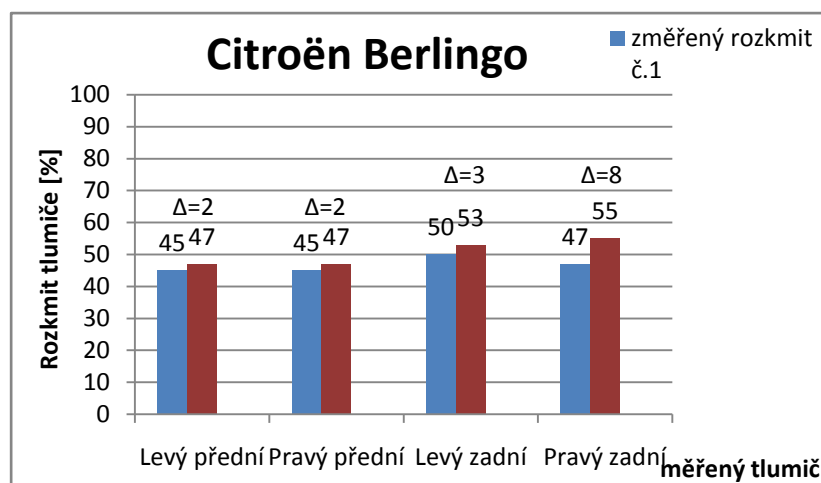
1) Citroën Berlingo

Tab. 5.12 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.9

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	23	Levý tlumič	32
Pravý tlumič	23	Pravý tlumič	33
Mezní hodnota	49	Mezní hodnota	60

Tab. 5.13 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	47	Levý tlumič	53
Pravý tlumič	47	Pravý tlumič	55



Obr. 5.6 Změna rozkmitů tlumičů vozidla Citroën Berlingo

Z grafu na obr. 5.6 lze vyčíst, že ani po druhém měření naměřené hodnoty rozkmitu tlumičů u vozidla Citroën Berlingo nepřesáhly mezní hodnotu (100%), takže tlumiče v druhém testu vyhověly. Dále graf znázorňuje změnu rozkmitu tlumičů po ujetí vzdálenosti 20 137 kilometrů od prvního měření, jež vyšla u tlumičů přední nápravy dvě procenta, u levého tlumiče zadní nápravy tři procenta a pravého tlumiče zadní nápravy osm procent.

Tab. 5.14 Změna rozkmitu tlumičů u vozidla Citroën Berlingo

Přední náprava	změna rozkmitu [%]	Zadní náprava	změna rozkmitu [%]
Levý tlumič	2	Levý tlumič	3
Pravý tlumič	2	Pravý tlumič	8

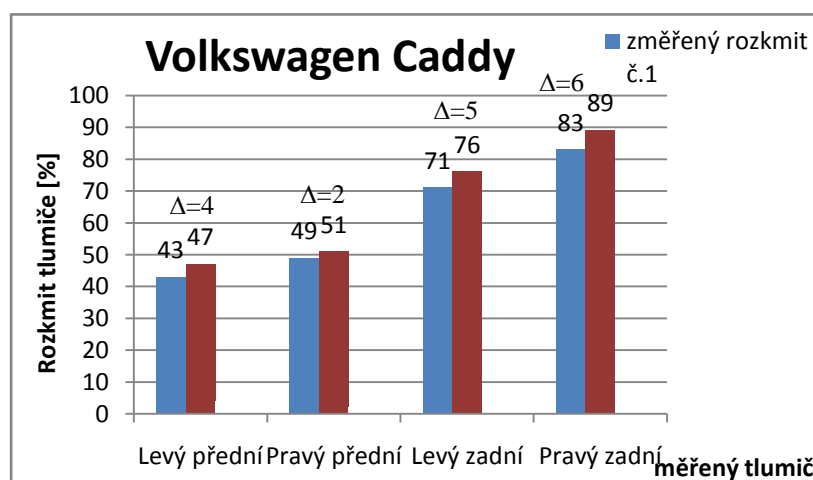
2) Volkswagen Caddy

Tab. 5.15 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.10

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	25	Levý tlumič	48
Pravý tlumič	27	Pravý tlumič	56
Mezní hodnota	53	Mezní hodnota	63

Tab. 5.16 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	47	Levý tlumič	76
Pravý tlumič	51	Pravý tlumič	89



Obr. 5.7 Změna rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen Caddy

Graf na obr. 5.7 zobrazuje, že ani po druhém měření žádný z naměřených rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen Caddy nepřesáhl mezní hodnotu rozkmitu (100%), tudíž tlumiče v druhém testu vyhověly, nicméně je znát na tlumičích zadní nápravy značné opotřebení. Z grafu můžeme taktéž vyčíst výslednou změnu rozkmitu tlumičů, která po ujetí 20 103 kilometrů od prvního měření vyšla u pravého tlumiče přední nápravy dvě procenta, levého tlumiče přední nápravy čtyři procenta, levého tlumiče zadní nápravy pět procent a pravého zadního tlumiče šest procent.

Tab. 5.17 Změna rozkmitu tlumičů u vozidla Volkswagen Caddy

Přední náprava	změna rozkmitu [%]	Zadní náprava	změna rozkmitu [%]
Levý tlumič	4	Levý tlumič	5
Pravý tlumič	2	Pravý tlumič	6

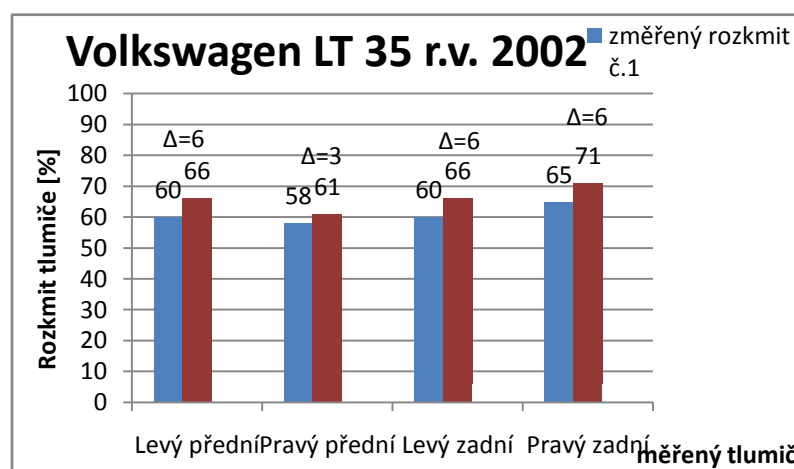
3) Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

Tab. 5.18 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.11

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	27	Levý tlumič	27
Pravý tlumič	25	Pravý tlumič	29
Mezní hodnota	41	Mezní hodnota	41

Tab. 5.19 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	66	Levý tlumič	66
Pravý tlumič	61	Pravý tlumič	71



Obr. 5.8 Změna rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

Z grafu na obr. 5.8 jde vidět, že ani po druhém měření naměřené hodnoty rozkmitu tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002) nepřesáhly mezní hodnotu (100%), takže tlumiče v druhém testu vyhověly. Dále graf znázorňuje změnu rozkmitu tlumičů po ujetí vzdálenosti 20 281 kilometrů od prvního měření, jež vyšla u pravého tlumiče přední nápravy tři procenta a u zbytku tlumičů šest procent.

Tab. 5.20 Změna rozkmitu tlumičů u vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

Přední náprava	změna rozkmitu [%]	Zadní náprava	změna rozkmitu [%]
Levý tlumič	6	Levý tlumič	6
Pravý tlumič	3	Pravý tlumič	6

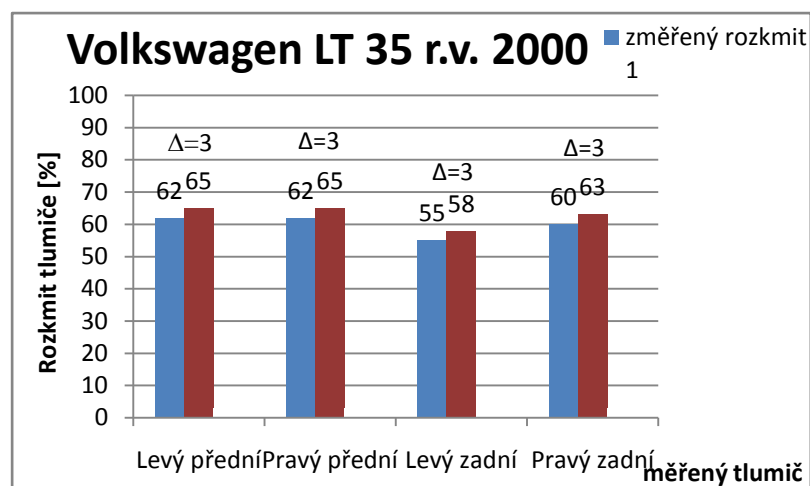
4) Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Tab. 5.21 Naměřené hodnoty v milimetrech, viz. příloha 8.12

Přední náprava	rozkmit tlumiče [mm]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [mm]
Levý tlumič	24	Levý tlumič	23
Pravý tlumič	24	Pravý tlumič	25
Mezní hodnota	37	Mezní hodnota	40

Tab. 5.22 Naměřené hodnoty v procentech

Přední náprava	rozkmit tlumiče [%]	Zadní náprava	rozkmit tlumiče [%]
Levý tlumič	65	Levý tlumič	58
Pravý tlumič	65	Pravý tlumič	63



Obr. 5.9 Změna rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Graf na obr. 5.9 ukazuje, že ani po druhém měření žádný z naměřených rozkmitů tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000) nepřesáhl mezní hodnotu rozkmitu (100%), takže tlumiče v druhém testu vyhověly. Z grafu lze taktéž vyčíst výslednou změnu rozkmitu tlumičů, která po ujetí 20 340 kilometrů od prvního měření vyšla u všech čtyř tlumičů tři procenta.

Tab. 5.23 Změna rozkmitu tlumičů u vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Přední náprava	změna rozkmitu [%]	Zadní náprava	změna rozkmitu [%]
Levý tlumič	3	Levý tlumič	3
Pravý tlumič	3	Pravý tlumič	3

5.2 Doporučení výměny tlumičů

Z naměřených hodnot u prvního měření, vypočtených hodnot změny rozkmitu tlumičů, počtu ujetých kilometrů před prvním měřením a najetých kilometrů mezi prvním a druhým měřením, jsem u vozidel za pomoci lineárního průběhu stanovil hrubý odhad životnosti tlumičů, aneb kdy každý z tlumičů dosáhne mezní hodnoty rozkmitu. K přesnějšímu určení životnosti tlumičů by bylo třeba provést více měření účinnosti tlumičů, protože se ve skutečném provozu tlumiče neopotřebovávají lineárně, ale v závislosti na provozních podmínkách, stylu jízdy řidiče a technickém stavu automobilu.

Výsledky životností jsem uvedl do tabulky a pro názornost je porovnal v grafu. Jelikož se tlumiče pérování u každé z náprav automobilu vyměňují v párech (kvůli zamezení rozdílu tlumícího účinku mezi levým a pravým tlumičem a tím docílení optimální stability vozidla), stanovil jsem pro každou z náprav automobilů vhodnou dobu výměny tlumičů.

Postup výpočtu:

Jako první jsem tedy určil rezervu rozkmitu tlumiče u prvního měření tak, že jsem naměřenou hodnotu rozkmitu odečetl od mezní hodnoty rozkmitu tlumiče. Následně jsem si vypsal velikost změny rozkmitu tlumiče mezi prvním a druhým měřením a počet najetých kilometrů vozidla mezi prvním a druhým měřením. Z těchto tří hodnot jsem pomocí přímé úměry dopočítal, kolik kilometrů od prvního měření může vozidlo ještě najet, než tlumič dosáhne mezní hodnoty rozkmitu. K vypočteným kilometrům jsem přičetl počet najetých kilometrů před prvním měřením, čímž jsem zjistil celkovou životnost tlumiče. Tento postup jsem aplikoval na všechny tlumiče měřených automobilů. Pro názornost uvádím vzorový výpočet č.2, pro levý tlumič zadní nápravy vozidla Citroën Berlingo.

Vzorový výpočet č. 2:

Použité hodnoty z kapitol 5.1.1, 5.1.2:

- Rezerva rozkmitu tlumiče u měření č. 1: $100\% - 50\% = 50\%$
- Změna rozkmitu tlumiče mezi měřením č. 1 a měřením č. 2: 3%
- Počet najetých kilometrů mezi měřením č. 1 a měřením č. 2: 20137
- Počet najetých kilometrů před měřením č. 1: 45800

3 % 20103 km

50 % x km

$$x = 50 / 3 * 20137$$

$$x = 335\,617 \text{ km}$$

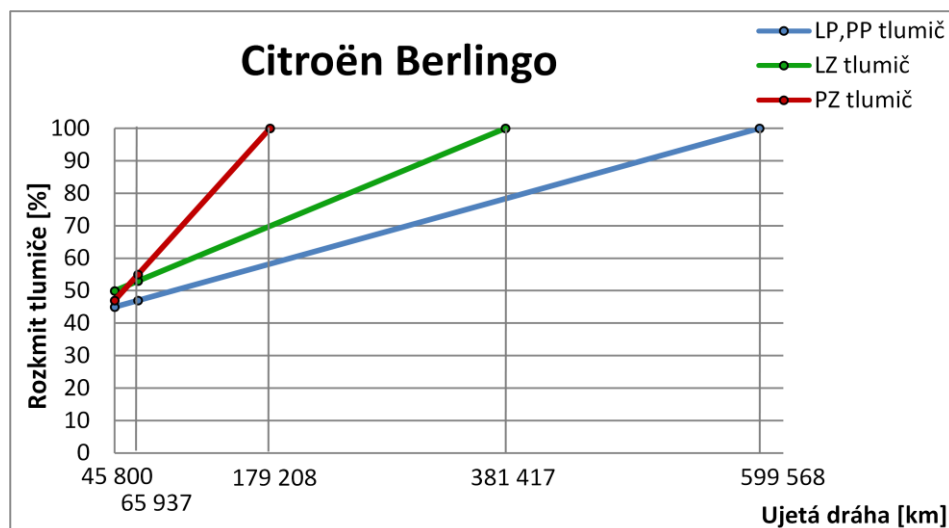
Životnost tlumiče: $45800 + 335\,617 = 381\,417 \text{ km}$

Životnosti tlumičů každého z vozidel a doporučení výměny tlumičů:

1) Citroën Berlingo

Tab. 5.24 Vypočtené hodnoty životnosti tlumičů

Přední náprava	Životnost tlumiče [km]	Zadní náprava	Životnost tlumiče [km]
Levý tlumič	599 568	Levý tlumič	381 417
Pravý tlumič	599 568	Pravý tlumič	179 208



Obr. 5.10 Graf životností tlumičů vozidla Citroën Berlingo

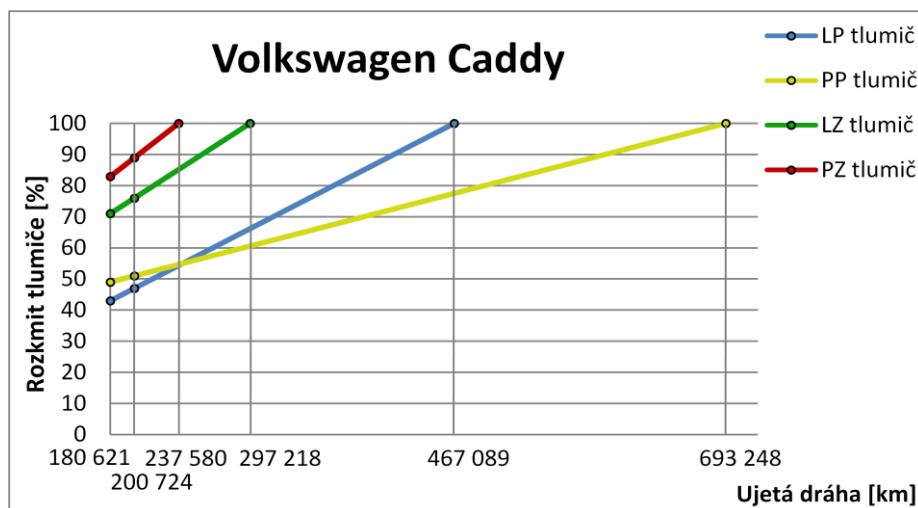
Z grafu na obr. 5.10 vyplývá, že u vozidla Citroën Berlingo mají nejdelší životnost tlumiče přední nápravy, po nich následuje levý tlumič zadní nápravy, tlumičem s nejkratší životností je pravý tlumič zadní nápravy.

Na přední nápravě vyšla životnost levého a pravého tlumiče stejně, tlumiče by tedy bylo vhodné vyměnit asi po 600 000 najetých kilometrech. U zadní nápravy má kratší životnost pravý tlumič, výměna tlumičů zadní nápravy by tak měla proběhnout zhruba po 179 000 najetých kilometrech.

2) Volkswagen Caddy

Tab. 5.25 Vypočtené hodnoty životnosti tlumičů

Přední náprava	Životnost tlumiče [km]	Zadní náprava	Životnost tlumiče [km]
Levý tlumič	467 089	Levý tlumič	297 218
Pravý tlumič	693 248	Pravý tlumič	237 580



Obr. 5.11 Graf životností tlumičů vozidla Volkswagen Caddy

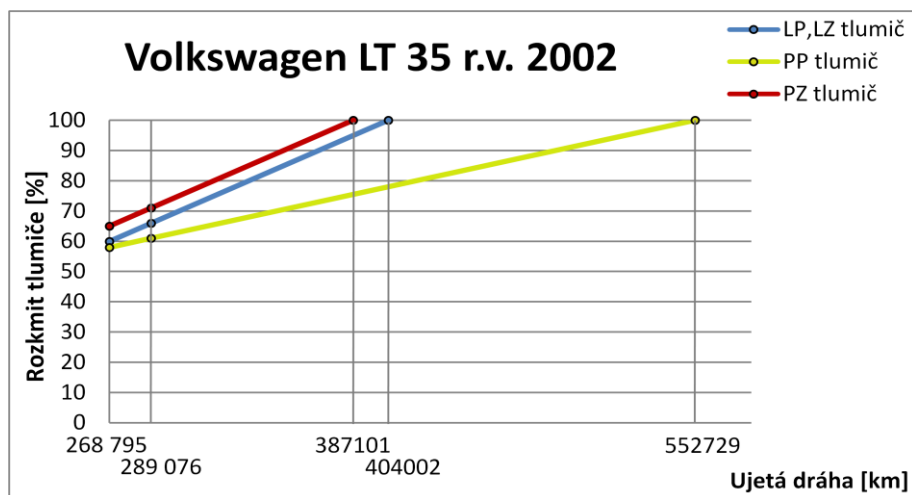
Graf na obr. 5.11 zobrazuje, že u vozidla Volkswagen Caddy je tlumičem s nejdelší životností pravý tlumič přední nápravy, po kterém následuje levý tlumič přední nápravy, za nímž je s větším odstupem levý tlumič zadní nápravy. Nejkratší životnost má pravý tlumič zadní nápravy.

U Přední nápravy by byla vhodná výměna tlumičů asi po 467 000 kilometrech. Tlumiče zadní nápravy by bylo ideální vyměnit zhruba při počtu 238 000 najetých kilometrů.

3) Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

Tab. 5.26 Vypočtené hodnoty životnosti tlumičů

Přední náprava	Životnost tlumiče [km]	Zadní náprava	Životnost tlumiče [km]
Levý tlumič	404 002	Levý tlumič	404 002
Pravý tlumič	552 729	Pravý tlumič	387 101



Obr. 5.12 Graf životností tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002)

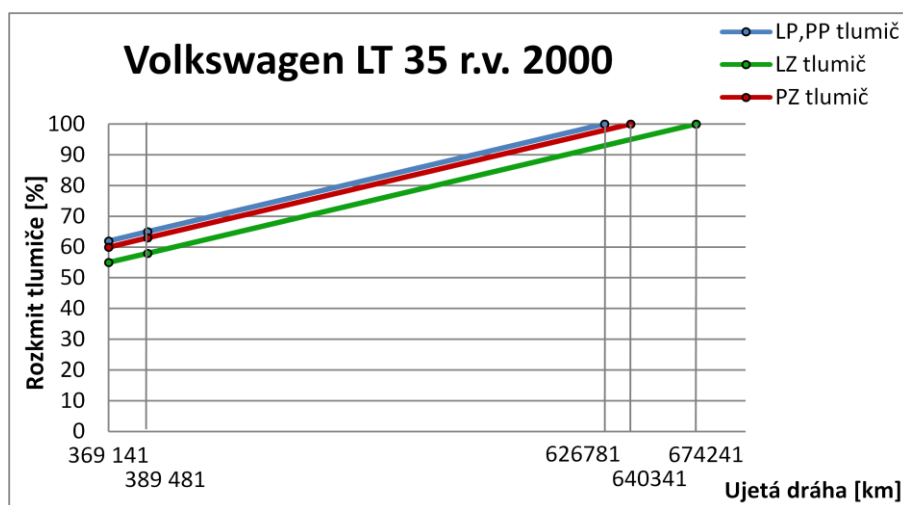
Z grafu na obr. 5.12 lze vidět, že u vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2002) má nejdelší životnost pravý přední tlumič, po něm následuje levý tlumič přední nápravy společně s levým tlumičem zadní nápravy, tlumičem s nejkratší životností je pravý tlumič zadní nápravy.

Výměna tlumičů přední nápravy by měla proběhnout zhruba při počtu 404 000 najetých kilometrů. Tlumiče na zadní nápravě by bylo vhodné vyměnit asi po 387 000 najetých kilometrech.

4) Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Tab. 5.27 Vypočtené hodnoty životnosti tlumičů

Přední náprava	Životnost tlumiče [km]	Zadní náprava	Životnost tlumiče [km]
Levý tlumič	626 781	Levý tlumič	674 241
Pravý tlumič	626 781	Pravý tlumič	640 341



Obr. 5.13 Graf životností tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000)

Graf na obr. 5.13 ukazuje, že se životnosti tlumičů vozidla Volkswagen LT 35 (r. v. 2000) velmi podobají. Nejdelší životnost má levý zadní tlumič, po něm následuje pravý zadní tlumič. Nejkratší životnost mají tlumiče přední nápravy.

Tlumiče přední nápravy by bylo třeba vyměnit zhruba po 627 000 kilometrech, tlumiče zadní nápravy by dle pravého tlumiče měly být vyměněny asi při počtu 640 000 najetých kilometrů.

6. Závěr

Kdybych měl porovnat jednotlivé soustavy odpružení používané v současnosti, budoucnost bych viděl nejspíš u soustav semiaktivních a aktivních, protože dokážou měnit tlumicí charakteristiku v řádkách milisekund a tím eliminovat kmity, přenášející se při jízdě z vozovky na vozidlo, jak na odpružených, tak na neodpružených částech vozidla. Problémem u těchto soustav zůstává měření opotřebení tlumičů, které skrz použití elektroniky nelze na bezdemontážních testerech tlumičů objektivně vyhodnotit.

Pro měření konvenčních systémů odpružení bych z bezdemontážních zkoušek tlumičů zvolil jako nejobektivnější rezonanční amplitudovou metodu, která oproti rezonanční amplitudové zkoušce, hodnotící míru opotřebení nepřímo pomocí přilnavosti kola k vozovce, hodnotí přímo rozkmit neodpružené části vozidla. U impulsní dokmitové metody nastává problém v rozkmitání tlumiče při měření, kdy jedno propnutí vozidla nemůže objektivně napodobit podmínky běžného provozu, narozdíl od vynuceného kmitání u rezonanční dokmitové zkoušky, které tlumič dokáže rozkmitat až do rezonanční oblasti kmitání.

Z výsledků měření je patrné větší opotřebení tlumičů zadní nápravy na vozidlech Citroën Berlingo a Volkswagen Caddy, oproti vozidlům Volkswagen LT 35 (r. v. 2002) a Volkswagen LT 35 (r. v. 2000), což je dáno menší užitnou nosností těchto vozidel, čímž dochází k většímu namáhání tlumičů. To se projevilo i nižší životností tlumičů zadní nápravy na těchto vozidlech.

Vypočtený kilometrický proběh mezi výměnami tlumičů je pouze hrubým odhadem, neboť byla provedena pouze dvě měření, čímž byl předpokládán lineární průběh opotřebení. Uvědomuji si, že ve skutečném provozu se tlumiče neopotřebovávají lineárně, ale v závislosti na provozních podmínkách, stylu jízdy řidiče a technickém stavu automobilu, proto by bylo třeba provést více měření po delších kilometrických intervalech k přesnějšímu určení životnosti tlumičů.

Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. *Koncepce motorových vozidel*, Brno VLK, 2000. 367 s. ISBN 80-238-5276-0
- [2] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*, 2. vyd. Brno VLK, 2003. 392 s. ISBN 80-239-0026-9
- [3] *Tlumiče pérování* [online]. [cit. 2008-11-20]. Dostupný z WWW:
<<http://600ccm.cz/Technika/tlumice-perovani.html>>
- [4] JAN, Zdeněk; ŽĎÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 1. Podvozky*, 4. vyd. Brno Avid s. r. o., 2006. 210 s. ISBN 80-903671-3-5
- [5] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*, Brno VLK, 2000. 434 s. ISBN 80-238-5273-6
- [6] *CDC tlumiče* [online]. [cit. 2008-11-26]. Dostupný z WWW:
<<http://news.auto.cz/technika/cdc-aktivni-tlumice-letos-nasly-cestu-do-beznych-aut.html>>
- [7] *Systémy odpružení* [online]. [cit. 2008-12-02]. Dostupný z WWW:
<http://www.carbibles.com/suspension_bible.html>
- [8] *Systém Airmatic* [online]. [cit. 2008-12-10]. Dostupný z WWW:
<<http://cs.autolexicon.net/articles/airmatic/>>
- [9] VLK, František. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*, Brno VLK, 2005. 461 s. ISBN 80-238-6573-0
- [10] *Tristar tester* [online]. [cit. 2009-01-24]. Dostupný z WWW:
<http://tristar.espo.cz/default_cz.htm>
- [11] BEDROŠ, Jaroslav; BERÁNEK, Karel. *Diagnostika silničních motorových vozidel*, Praha Nadas, 1985. 184 s.
- [12] *Sachs Shocktester 200 EFD* [online]. [cit. 2009-03-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.zf-trading.cz/download/Shocktester200.pdf>>